

ТЕРМОЭМИССИОННАЯ АКТИВНОСТЬ КОМПОЗИЦИОННЫХ КОНТАКНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Павленко Т.П. к.т.н, доц.

Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт"

Украина, 61002, г.Харьков, ул. Фрунзе,21, НТУ"ХПИ", кафедра "Электрические аппараты"

В работе рассмотрено влияние структуры композиций контактных материалов на работу выхода электронов в момент размыкания контактов и возникновения электрической дуги. В результате проведенных исследований было определено, что с уменьшением работы выхода электронов повышается износостойкость электрических контактов за счет увеличения подвижности основания электрической дуги

ВВЕДЕНИЕ. При изучении многих работ выяснилось, что в эмиссионно-адсорбированных процессах определяющую роль играет "состояние поверхности" (без изменения фазового состава). Понятие "состояния поверхности" включает не только определение химической природы поверхностных атомов, законы их движения и взаимного расположения, но и электронного состояния таких атомов. При этом структурно-геометрические факторы ответственны за электростатический двойной слой на поверхности, а характеристики межатомного электронного взаимодействия - за обменный и корреляционный вклады в величину поверхностного потенциального барьера.

Изучая физические процессы на контактах автор пришел к выводу, что основными параметрами при исследовании дуговой эрозии на контактах являются не только тепловые процессы и параметры материала контактов, но и изменение работы выхода электронов(φ), которая определяется минимальной энергией, , необходимой для перемещения электрона с поверхности в твердом теле, преодолевая уровни Ферми.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ. Определить влияние структуры композиционных контактов на работу выхода электронов при размыкании контактов и возникновении дугового разряда.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ. Понятие работы выхода как меры энергии связи электронов с твердым телом возникло уже на ранних стадиях развития электронной теории металлов. Более ранние работы середины 60-х годов необоснованно отрицали влияние электронного строения поверхностного слоя [1, 2,] и это приводило к утверждению, что работа выхода электронов является характеристикой не самого вещества, а лишь плотности и характера упаковки атомов поверхности, причем не учитывалось, что изменение ретикулярной плотности отражает изменение электронного состояния атомов и характера их взаимодействия, который определяется активностью атомов, числом ближайших соседей, энергией взаимодействия. Но главным остается тип химической связи атомов в решетке кристалла. Взаимосвязь работы выхода (φ) со структурными характеристиками вторична, поскольку кристаллическая структура (в том числе размер атома) есть функция электронной подсистемы, являющейся основой для любых межатомных взаимодействий.

Таким образом, как показали эти и другие работы, в классической теории металлов работа выхода представляла собой скачок потенциальной энергии электрона на границе металла.

Но не все авторы ранних работ дают удовлетворительное определение работы выхода. Одним из первых объяснений физической природы работы выхода металлов было предложено Дебаем и Шоттки, которые рассматривают ее как работу, совершаемую против

сил взаимодействия электрона с индуцированным им на поверхности металла зарядами. т.е. против поляризационных сил [3].

Поляризационная часть работы выхода в современной теории металлов имеет следующий смысл. При удалении одного электрона из металла оставшиеся в нем электроны оказываются в других условиях, чем до удаления что вызывает изменение состояний оставшихся электронов и возрастание их энергий на величину поляризационной части работы выхода. Квантомеханическое рассмотрение этих поляризационных изменений энергии электронов в металле, имеющем "гладкую" (без учета атомистической структуры) поверхность, привело к значению внешней работы выхода, которая показывает следующий механизм.

Свободные электроны должны уходить за пределы металла и образовывать вблизи поверхности отрицательно заряженный электрический слой, который вместе с избыточными положительными зарядами ионов под поверхностью и образует двойной электрический слой, поле которого будет тормозить проходящие сквозь него электроны из металла. Эта точка зрения имеет место и в современной теории твердого тела. Плотность электронного облака внутри кристалла есть периодическая, с периодом, равным постоянной решетки, функция координат. При этом для металлического кристалла центр тяжести электронного облака в каждой ячейке совпадает с ядром атома, поэтому дипольный момент этих ячеек равен нулю.

Для ячеек, расположенных на границах металла будет наблюдаться совсем другая картина, т.к. электронное облако в них будет расположено несимметрично относительно ядер атомов. Поэтому каждая ячейка будет обладать своим дипольным моментом, а совокупность их образует двойной электрический слой, который характеризуется поверхностной плотностью атомов.

Рассмотренные две составляющие работы выхода (поляризационная и связанная с двойным электрическим слоем у поверхности тела) имеют положительный знак при выходе электрона из эмиттера и отрицательный - при входе электрона в него, т.е. являются обратимыми (для идеального металла). Но существует и необратимая часть работы выхода электрона. Здесь считают, что система электронов находится как бы в замороженной решетке. Разность энергетических состояний не будет определяться структурой поверхности, т.к. все равно система токов выделит в кристалле некоторое джоулево тепло. Это тепло проявится в изменении энергии колебаний кристаллической решетки. Полное изменение энергии тела будет складываться из изменения энергии системы электронов и энергии кристаллической решетки. Тогда, очевидно, что изменение энергии решетки, вызванное релаксационными явлениями, имеет одинаковый знак как при удалении электрона из тела, так и при введении электрона из вне, т.е. является необратимой частью работы выхода, а значит она не будет равна нулю. Эта часть работы выхода будет складываться в явлениях эмиссии электронов, но контактное равновесие, наверно, не будет от нее зависеть. Такое понятие работы выхода характерно для однородных катодов.

Для неоднородной поверхности катода (наличие граней микрористаллов с различными атомами других элементов) характерно наличие контактных разностей потенциалов. Работа выхода элемента поверхности катода определяется его свойствами а также свойствами соседних элементов и величиной электрического поля. Различие в локальных работах выхода частей поверхности означает то, что между областями поверхности существует контактная разность потенциалов, а над поверхностью эмиттера существует поле пятен, которое направлено так, что задерживает электроны покрытых поверхностей, обладающих малой работой выхода (φ_{min}) и наоборот, ускоряет электроны над чистой поверхностью с большой работой выхода (φ_{max}).

При данной контактной разности потенциалов $\varphi_{max} - \varphi_{min}$ характер поля пятен зависит от размеров областей, как покрытых так и не покрытых; при малых размерах пятен это поле будет обладать большей напряженностью вблизи поверхности, но будет быстрее убывать с удалением от нее, а при больших размерах - поле слабое, чем в первом случае, вблизи поверхности эмиттера, но будет медленнее спадать при удалении от нее. Для

однородного поля существует предельное значение, которое называется локальной работой выхода ($e\varphi_l(r_s)$).

Полная работа выхода (Φ) неоднородного катода состоит из локальной работы выхода его $\varphi_l(r_s)$ и потенциального барьера поля пятен $\Delta V_{II}(r_s)$, величина которого зависит от внешнего электрического поля E , от покрытия $\Theta(r_s)$ как самого элемента dS так и распределения покрытия $\Theta(r'_s)$ по соседним элементам катода, т.е.

$$\Phi[r_s, \Theta(r_s), \Theta(r'_s)] = \varphi_l[r_s, \Theta(r_s)] + \Delta V_{II}[r_s, E, \Theta(r_s), \Theta(r'_s)]$$

При отсутствии внешнего поля, т.е. при $E=0$ полная работа выхода будет одинакова для всех элементов поверхности катода и равной среднему по поверхности S катода значению локальной работы выхода $\varphi_l(r_s)$ т.е.

$$\Phi(r_s) \rightarrow \bar{\varphi}_s = \frac{1}{S} \int_S \varphi_l(r_s) dS,$$

соответственно

$$\Delta V(r_s) \rightarrow \bar{\varphi}_s - \varphi_l(r_s)$$

При внешнем электрическом поле, достаточном для полной компенсации поля пятен, т.е. $E_0 > E_{0,кр}$, $\Delta V_{II}(r_s) = 0$, поэтому $\Phi(r_s) = \varphi_l(r_s)$.

Таким образом, для элементов с $\varphi_l < \bar{\varphi}_s$ при возрастании поля E_0 барьер пятен изменяется от $\bar{\varphi}_s - \varphi_l(r_s)$ до нуля, а работа выхода от $\bar{\varphi}_s$ до $\varphi_l(r_s)$, причем для $E_0 > E_{0,кр}$ локальная работа выхода этих элементов будет понижена как и для чистого металла.

При значительном внешнем поле, вследствие очень сильной зависимости плотности электронного тока от работы выхода $\Phi(r_s)$, практически вся эмиссия пойдет с областей катода, где $\Phi(r_s) = \Phi_{min}$, и поэтому $\Phi_e \approx \Phi_{min}$, а для $E > E_{кр}$, $\Phi_e = \Phi_{min}$.

Таким образом, электронная эмиссия катода, содержащего несколько композиций может служить в соответствующих условиях средством изучения областей катода, обладающих малой работой выхода электронов с его поверхности.

Но не только изменяется работа выхода электронов при изменении внешнего поля, изменяется также температурный коэффициент катодов, который зависит от силы эмиссионного тока насыщения. Этот ток может изменяться с температурой в соответствии с работой выхода данного элемента.

Так как вопрос теоретического расчета или оценки работы выхода электронов для веществ и материалов все еще далек от окончательного разрешения, то основную информацию об эмиссионных свойствах материалов исследователи получают экспериментальным путем.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ. Исходя из поставленной задачи, автором были проведены эксперименты с материалами щелочноземельных металлов, где было определено, что достичь высокую термоэлектронную активность можно процессом активирования. В результате активирования работа выхода становится меньше, чем у чистых материалов основы и самого активатора. В процессе работы такого материала в дуговом разряде монокатодный слой разрушается под действием теплового поля катодных пятен. Если на рабочей поверхности электрода имеются участки с эмиссионными свойствами, то это увеличивает скорость движения основания дуги, т.к. поле катодного пятна будет инициировать его перемещение а именно катодное пятно дуги привязывается к участкам электрода с низкой работой выхода, оно перемещается, а прогрев его вынужден будет переместиться дальше и т.д. Направленное движение дуги можно создать также под действием собственного или внешнего магнитного поля.

ВЫВОД. В результате проведенной работы были определены основные свойства активированных электродов, создающие предпосылки для создания контактного материала с

повышенной сопротивляемостью к дуговой эрозии с так называемой "пятнистостью" (неравномерность локальной работы выхода по поверхности электрода) эмиссионного поля рабочей поверхности. Как показали исследования, контраст эмиссионной поверхности, вызванной "пятнистостью" сохраняется после активирования, что характерно для чистых металлов. Таким образом, при создании особых эмиссионных свойств рабочей поверхности контакта сам материал контакта будет стимулировать движение возникшей электрической дуги, а поэтому и меньше эродировать. Исследования по этой проблеме продолжаются и результаты работы периодически могут отражаться в научно-технических журналах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Добрецов Л.Н., Мацкевич Т.П.- Журнал техн. физики, 1966, 36, №8, с.1449-1458
2. Добрецов Л.Н., Гомоюнова М.В. Эмиссионная электроника.-М.; Наука 1970
3. W. Schottky, Phys. Zs. 15,872